第6章

汎用評価ボードの製作

——盛りだくさんの入出力回路を搭載したプリント基板を作る

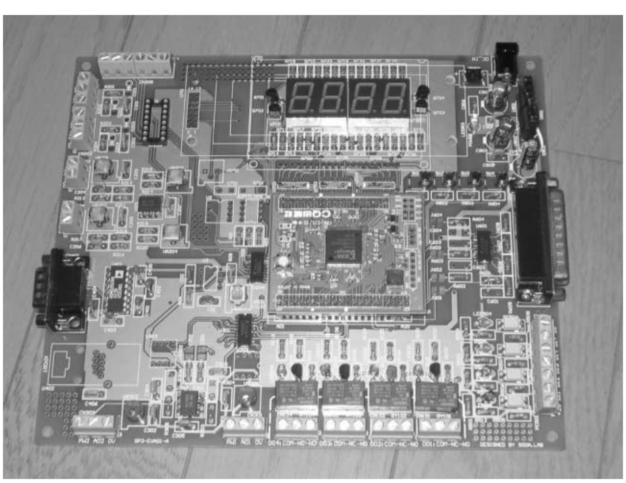
相田泰志

ここでは，付属FPGA基板を利用する際に便利な各種入出力回路を搭載した汎用評価ボードの製作事例を紹介する．多くの機能を搭載した基板があると便利だが，これを一から作るとなると，かなりの時間が必要になる．ここで紹介する汎用評価ボードは，自作プリント・ボードを使っている．回路設計，アートワークを行い，1枚から比較的安価に製造できるプリント基板メーカに製造を依頼した．（編集部）

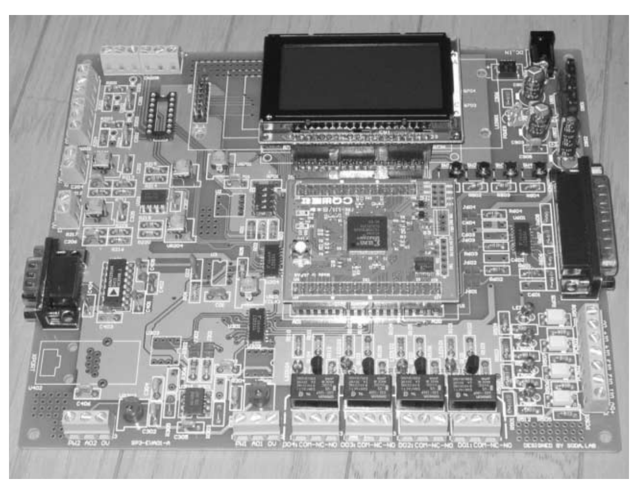
本誌に基板が付属するのも今回で3度目になります．記事で読むだけではなく，実際に設計ツールを操作し，実機で実験・評価できるのは，とても勉強になります．また，なかなか個人では購入できないデバイスを手元で動作させられるのは，とても魅力的です．ただ，いちばん悩ましいことは，「付属基板だけでは動かない」ということです．付属基板は電子部品であり，動作させるためには電源を用意しなくてはなりません．FPGAに回路データを書き込むためのダウンロード・ケーブルも必要です．ダウンロード・ケーブルを持っていたとしても，コネクタを買ってきて，基板にはんだ付けしなければなりません．いつもしごとではんだごてを握っている方ならともかく，中学校の技術家庭科以来ごぶさたしているという方の場合は，このあたりでくじけているのではないでしょうか？

また，付属基板だけでは何が動いているのか確認しにくいので，外部インターフェースとして，スイッチやLED，RS-232-Cなどの周辺回路が必要となります．ハードウェアを考えるのはもちろんのこと，実際に回路として基板に実装するには，時間も手間もかかります．

筆者は，最初（本誌2003年1月号）の付属基板向けにはユニバーサル基板を使用して評価基板を作成してみましたが，2回目（本誌2003年10月号）のときには断念してしまい



（a）LED表示モデル



（b）グラフィックスLCD表示モデル

写真1　汎用評価ボード

LED表示用，およびグラフィックスまたはキャラクタのLCD表示用の汎用評価ボードを製作した．盛りだくさんの機能にしたので，まだすべての部品を実装していない状態．

コラム 1

汎用評価ボードの読者頒布について

本文でも説明しているように，汎用評価ボードはプリント基板メーカに製造を依頼しました．付属FPGA基板には，電源回路やLEDが実装されており，スイッチのパターンも用意されているとはいえ，単体ではできることが限られてしまいます（スイッチに合わせてLEDをピカピカさせるくらい）．Spartan-3を活用しようとするなら，周辺回路を搭載したボードが必要になります．しかし，ユニバーサル基板を使ってボードを作ると手間がかかります．同じように，汎用評価ボードの調達に苦労されている方も多いと思います．

そこで，今回製作した汎用評価ボードの読者頒布サービスを行います．記事で紹介したもので基本的な動作を確認し，現在第2版を製作中です．

詳しくは，以下のホームページで案内します．

http://homepage2.nifty.com/soda-cafe/

LED表示版の完成品で1万円前後で頒布できると思います（XPortなど一部の部品はオプション）．期間・数量限定になることをあらかじめご了承ください．

ました．構想や回路図だけは検討したのですが，配線することを考えると，なかなか手がつかない状態だったのです．そこで今回の汎用評価ボードは，カスタムのプリント基板を使って製作しました（**写真1**）．パソコン版のプリント基板設計ツールを利用して，回路設計からプリント基板のアートワークまでを行い，プリント基板メーカに製造を依頼しました．

1．評価用プリント基板製造の現状

ひと昔前までは，プリント基板を自作するということは，コスト的に敷居の高いものだったと思います．個人でできたことといえば，感光基板を使うくらいです．テープを使ってパターンを引き，露光やエッチングを行い，ドリルで穴をあけて作成するという，まさに手作り基板でした．最近の高密度実装用の部品や狭ピッチの表面実装部品向けのパターンは作れないので，市販の変換基板などを買ってきて，取り付けるぐらいしか方法がありませんでした．

もちろん1枚からプリント基板を作ることは，従来でも可能でした．回路図やアートワークをプリント基板メーカに渡し，CAD（computer aided design）ツールのデータを作成して，作画や版下の作成を行って，プリント基板は製造されます．このような工程があるため，10万円以上の初期費用が必要になっていました．また，基板代を含めるとどんなに簡単なものでも15万円は下りませんでした．もちろん，これらの版下などは，量産や繰り返し生産を考慮したものなので，製品化のことを考えれば高いものではありません．しかし，個人用や開発時のちょっとした実験のためだけという目的では，とても手が出るものではありません．

● プリント基板を個人で作れる時代がやってきた！

しかし，ここ数年，高性能パソコンやインターネットの普及も手伝って，状況が大きく変わっています．個人であっても1枚から基板を作成してくれるプリント基板メーカが現れ始めたのです．プリント基板の製造条件などに制限を設けることで低コスト化を実現しています．例えば，今回作成したプリント基板（170mm×200mm）は，10枚で約4万円という価格で作成することができました．

プリント基板を作成するためには，プリント基板設計ツールから出力されるデータを提出しなければなりません．ひと昔前には，プリント基板CADというと，UNIXワークステーションでなければ動かせないものばかりでした．パソコンで動いても実用には程遠いといった感がありました．しかし最近では，パソコンの性能が向上したおかげで，パソコン上で動くCADツールが使いやすくなっています．以前はワークステーションでもたいへんだった自動配置や自動配線（オート・ルータ）なども装備しています．加えて，回路図入力からSPICEシミュレーションまで行うことができます．

従来は，回路設計者のしごとは回路図を引くところまでで，アートワークから先はプリント基板メーカに依頼することが一般的でした．現在は，設計者がパソコンを使ってアートワーク設計まで行えます．これにより，設計時に基板の実装や配置の方法，シルクの表示などを自分で指定できるため，かなり詳細な設計を行えます．

● プリント基板設計に必要な環境

プリント基板のアートワークを行うためには，まず，CAD環境が必要になります．昔は，パソコンではメモリ容

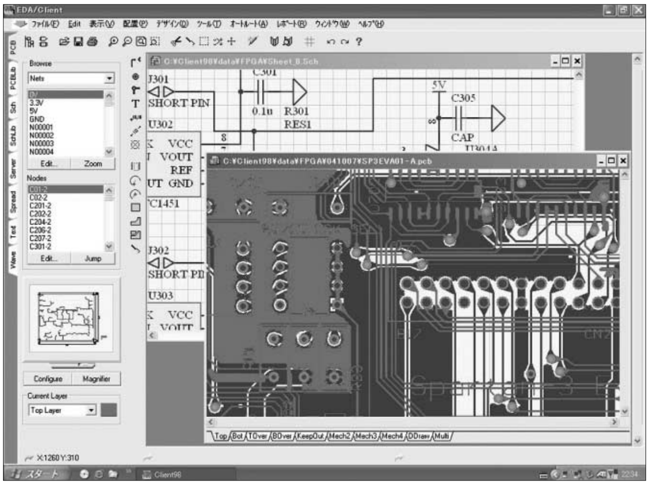


図1　プリント基板設計ツールの画面例
オーストラリアAltium社の「Protel 98」の画面．以前購入した書籍に付属していた評価版である．最新版は「Protel 2004」．

量や速度が足りないと言われていたのですが，最近ではパソコンでマルチメディアの処理なども行うため，プリント基板設計用として十分な性能を備えているといえます．よっぽど古いパソコンでなければ，CADツールに対応できます．

今回は，以前購入した書籍に付属していたオーストラリアAltium社のプリント基板設計ツール「Protel 98（評価版）」を使用してみました（**図1**）．Protelは，回路図作成からアートワーク，シミュレーションまで行えるフルスペックのプリント基板設計ツールです．最新版は「Protel 2004」になっているようです．

ほかにも，プリント基板メーカがそのメーカに発注しやすいようにカスタマイズされた設計ツールを無償で配布し

表1　評価版や無償版が用意されているプリント基板設計ツールの例

製品名	ベンダおよび作成者	URL	内　容
Protel 2004	Altium社	http://www.protel.co.jp/	評価版あり
P-CAD2000	Altium社	http://www.altium.co.jp/pcad2002/	評価版あり
PCBE	高戸谷 隆氏	http://www.vector.co.jp/soft/win95/business/se056371.html	フリー・ソフトウェア
HiWIRE School version	WINTEK社	http://www.matsu.co.jp/	アカデミック版あり
WinBoard PCB Layout	Ivex社	http://www.ivex.com/	評価版あり
CADLUS X	P板.com	http://www.p-ban.com/	P-ban.com専用版
EAGLE Light Edition	CadSoft Computer社	http://www.cadsoft.de/	機能限定版
Proteus PCB Design Package	Proteus社	http://www.labcenter.co.uk/	評価版あり

コラム2　ちょっと気の利いたプリント基板設計法

プリント基板を設計する際に，ちょっと手を入れると使いやすいものになります．そんなTipsを紹介します．

1）あまったスペースをユニバーサル・エリアにする

部品の実装密度があまり高くない場合，プリント基板上にパターンのない部分ができることがあります．このような場合，ユニバーサル基板のようにランドを並べておくと，変更や追加の回路を増設したいときに役立ちます．最近では表面実装部品を使う機会が多いので，標準的なSOP（small out-line package）やQFP（quad flat package）のパッドを用意しておくのもよいでしょう．

2）複数の部品が使えるようにする

試作として，あるいは個人で作る場合は，予定していた部品が手に入らず，代替品を使わなければならない場合もあります．そのときは，いくつかの部品が使えるように，あらかじめパターンを用意しておくとよいでしょう．使用する部品を選択する際には，できるかぎり標準的な形状でよく使われているものにしておくことも重要です．

3）基板名，バージョンを入れる

回路変更により，プリント基板の改版を繰り返さなければならないことも少なくありません．そこで，シルクには基板名とバージョンを入れることをお勧めします．例えば，基板名がSP3-EVA01だとすれば，その後に-A，-Bのようにバージョンを付けておくと，まちがうことなく管理できます．

4）電源のパッドには電圧表示を

電源ラインやGNDラインには，「＋5VDC」や「GND」の表示を設けておくと，デバッグ時に役立ちます．また，短絡させてしまうといったミスもなくなります．

5）ICのピン番号を入れる

コネクタやICなどのピン番号はできるかぎり入れておくと便利です．また，トランジスタの端子（E，C，B）や3端子レギュレータのIN，OUTなどをちょっと追加しておくだけで，回路の確認やチェックが楽になります．

6）隠しサイン（？）

みずから設計したあかしとして，作成した年月や自分のサインを入れたいと思うものです．しかし，これをシルクで入れたら目だってしまいます．

そこで，はんだ面パターンを使ってクレジットを入れておくと，作成した履歴がわかります．ただし，やりすぎないように….

たり，小さい基板の設計に利用できる評価版の基板設計ツールなどがあります．いろいろ試してみるのもおもしろいと思います．

表1に，無償で使用可能なプリント基板設計用CADツールの一覧を示します．

2．汎用評価ボードの設計

まず，ボードに搭載する機能を検討します．せっかくプリント基板を作るのですから，将来使いそうな機能を詰め込んでみました．

● 仕様を決定する

パソコンのパラレル・インターフェースとストレート・ケーブルで接続するだけでコンフィグレーションやデバッグを行えるように，コンフィグレーションのための回路を搭載します．回路は，米国Xilinx社の「Spartan-3 Starter Kit」で紹介されているJTAG3ケーブルを参考にしました．

入出力回路としては，アナログ入出力，ディジタル入出力，シリアル・ポートを用意します．また，米国Lantronix社の小型Webサーバ・モジュール「XPort」も搭載できるようにしました．XPortは，RJ-45コネクタの中にCPU，Ethernetコントローラ，リアルタイムOS，TCP/IPなどのプロトコル・スタック，Webサーバ・アプリケーションが内蔵されたものです．これを利用することで，測定データや制御データをLANを介してパソコンと簡単にやり取りすることができます．スイッチや表示器が足りない場合にもWebを利用できるので便利になると考えました．

Spartan-3ファミリは，I/Oの許容電圧が最大3.3Vです．5VのTTLやCMOSインターフェースの信号については，74LCX244を使ってレベル変換を行う必要があります．

今回作成する汎用評価ボードの回路図を**図2**～**図13**に示します．搭載する機能について簡単に説明します．

1）表示機能（図3）

4けたの7セグメントLED，20けた×4行のキャラクタ表示LCD（台湾Sunlike Display Tech.社の「SC2004SC」），グラフィックスLCD（セイコーインスツルの「G1216B1N00」）を用途に応じて選択できるようになっています．7セグメントLEDの上部にLCDモジュールを実装することになります．信号線を共用にしているので，同時使用はできません．

2）アナログ入力機能（図4）

米国Microchip Technology社の逐次比較型12ビットA-D

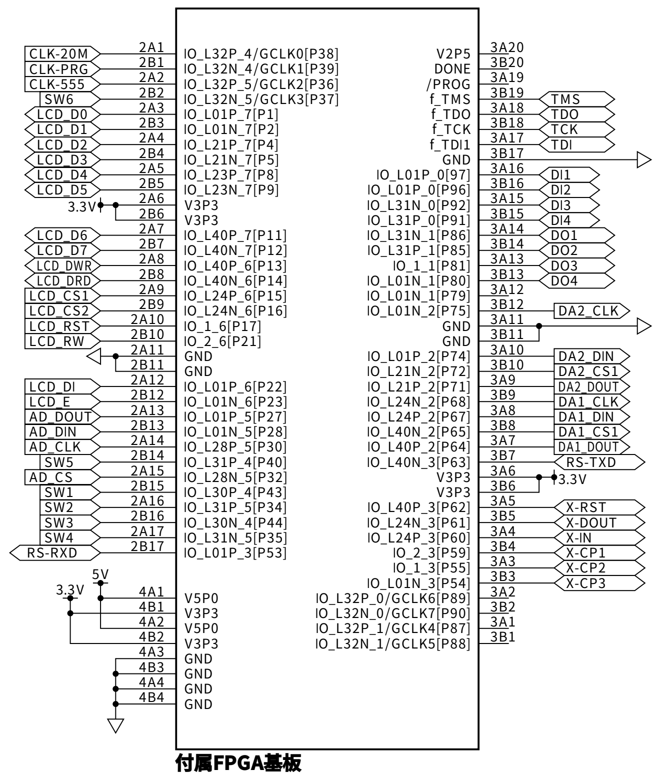


図2　付属FPGA基板周辺の回路

> **コラム3　プリント基板の材料とシルク**
>
> 試作向け基板は，FR-4と呼ばれるガラス・エポキシ基板が一般的です．紙エポキシ基板やベーク基板のほうが安いというイメージがありますが，実際にそうなるのは大量生産される製品の場合に限られます．個人で試作する場合は，FR-4が標準と考えてよいでしょう．
>
> スルー・ホールなどの表面処理は，はんだレベラ（はんだめっき処理）が標準でした．しかし最近は，高密度実装の要求により，金フラッシュ処理を標準としているメーカも多くあります．はんだレベラでは表面が粗く，精度がでないためです．
>
> パソコンの周辺機器（メイン・ボードやグラフィックス・ボード）にみられるように，レジストも緑とは限らなくなりました．最近では，赤，青，黄，白，黒といったレジストで作成することができます．シルクの色も選べるので，個人や試作で作る際には，ちょっと試してみるのもいいかもしれません．

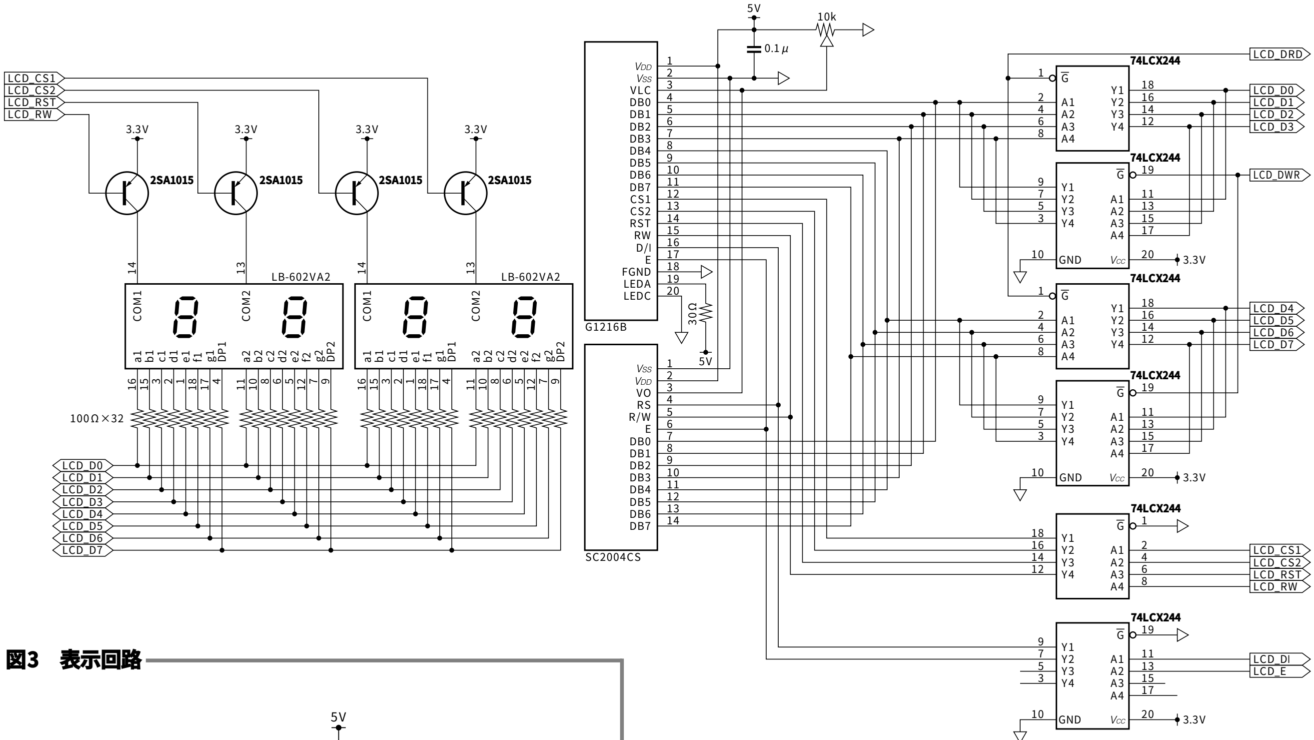
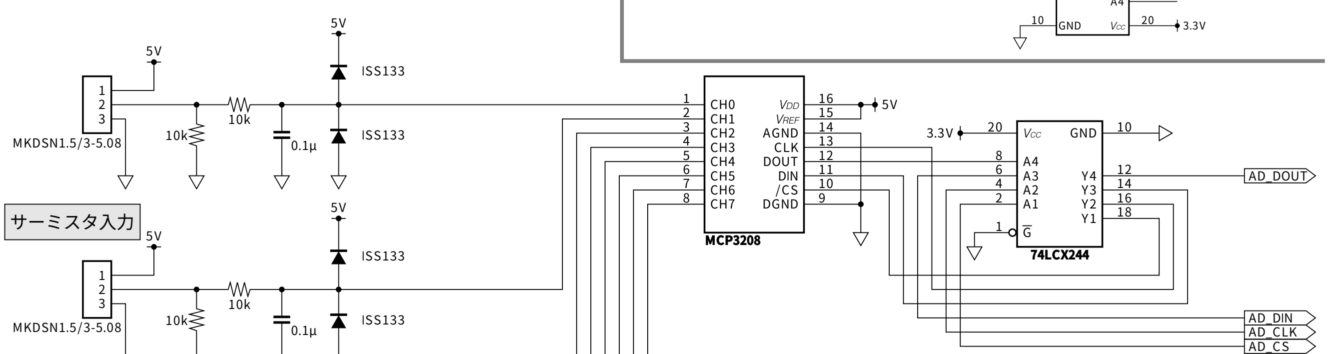


図3　表示回路



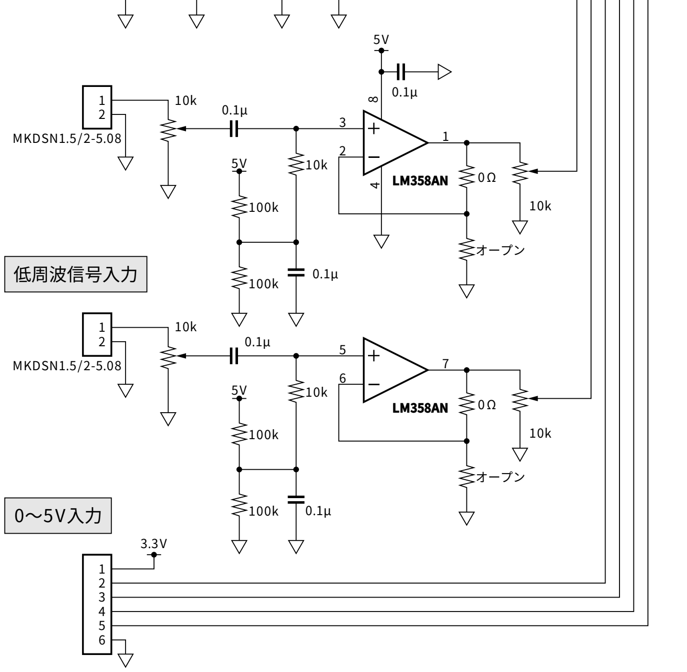


図4　アナログ入力回路

コンバータ「MCP3208」を搭載しています．

2チャネルのサーミスタ入力，2チャネルの低周波用信号入力，4チャネルの0～5V（DC）入力を用意します．ディジタル変換されたデータは，3線式のシリアル・インターフェースで収集することができます．

3）アナログ出力機能（図5）

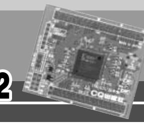
米国Linear Technology社の12ビットD-Aコンバータ「LTC1451」を搭載しています．また，2チャネルの出力と出力用バッファを用意しています．出力するデータは，3線式シリアル・インターフェースによって渡します．

4）ディジタル入力機能（図6）

有電圧/無電圧接点選択可能な4点のディジタル入力インターフェースです．LED表示付きです．

5）ディジタル出力機能（図7）

4チャネルのリレー出力（125VAC 0.4A/30VDC 2A）で



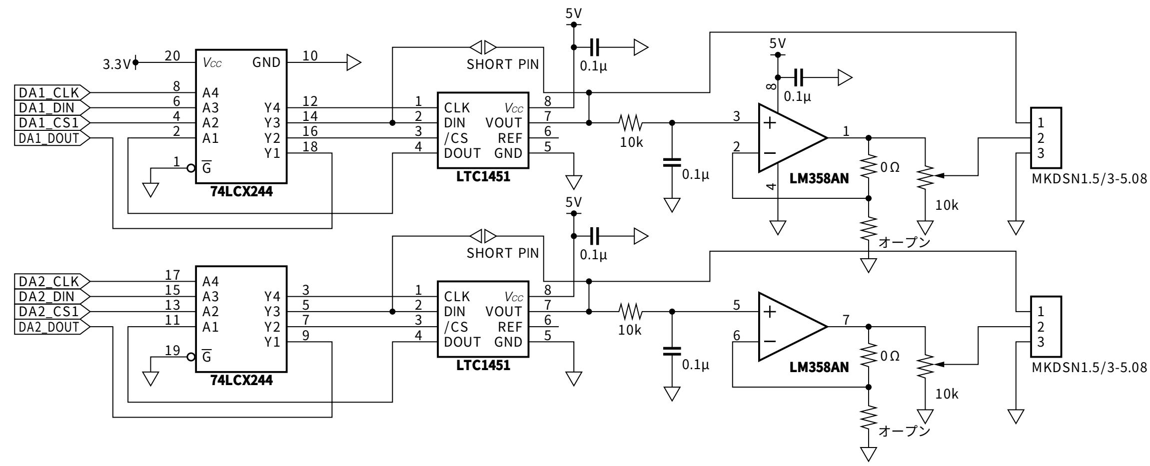


図5
アナログ出力回路

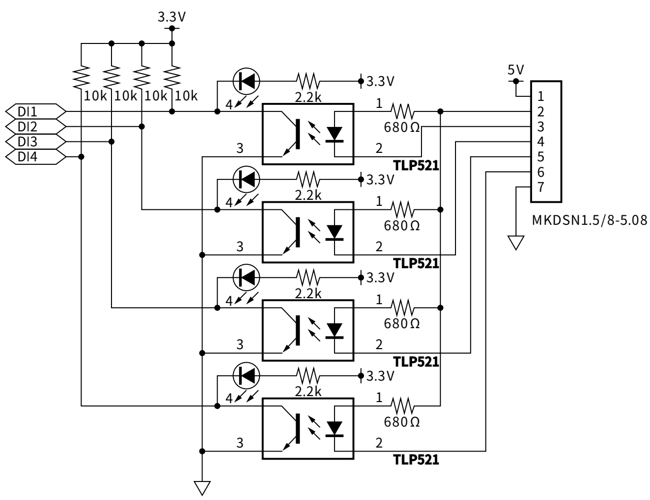


図6　ディジタル入力回路

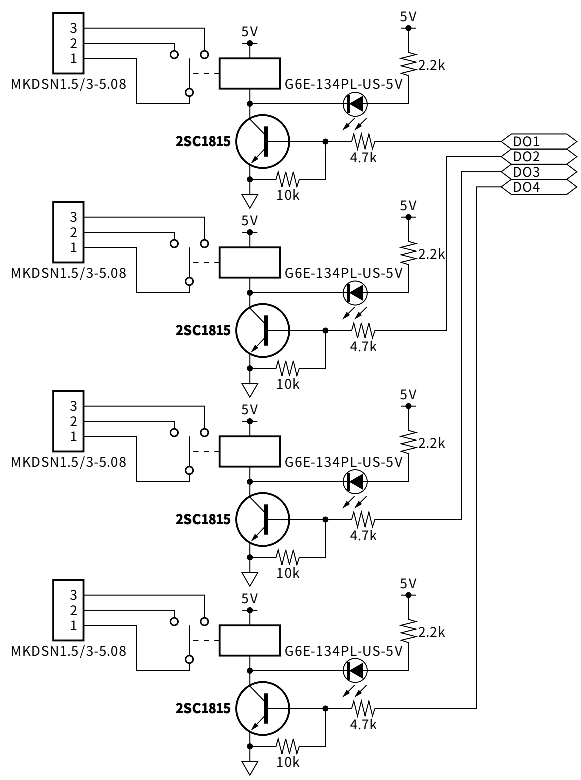


図7　ディジタル出力回路

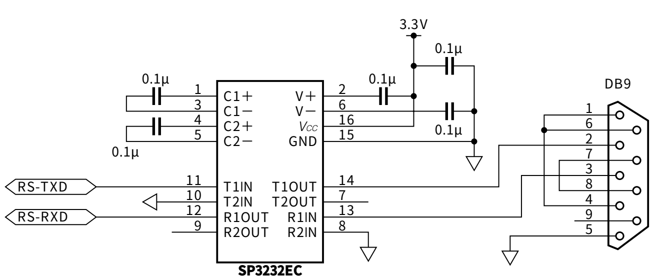


図8　RS-232-Cインターフェース回路

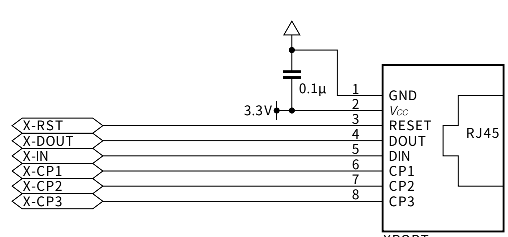


図9　Ethernetインターフェース回路

す．LED表示付きです．

6）RS-232-C通信機能（図8）

レベル変換ICとDサブ9ピン・コネクタを搭載していま す．信号線としてはRXD，TXDだけを使うものとします．

7）Ethernetインターフェース（図9）

小型Webサーバ・モジュール「XPort」を搭載していま

6

す．簡易Web機能を実現できます．

8）スイッチ入力（図10）

4個のプッシュONスイッチを搭載しています．

9）クロック機能（図11）

20MHzの水晶発振器と，タイマICによる可変クロックを搭載します．

10）コンフィグレーション回路（図12）

JTAG3ケーブル相当の回路を搭載します．

11）電源（図13）

ACアダプタ（DC 7～9V）で供給します．ボード上で5Vと3.3Vを生成します．付属FPGA基板には，ここで生成した3.3Vを供給しています．

● 回路図入力とライブラリ登録を行う

プリント基板の設計は，おおよそ以下の手順で行います．

- 回路図用部品ライブラリ作成
- 回路図入力
- パターン図用部品ライブラリ作成
- アートワーク作成

Protelに限らず，最近のプリント基板設計ツールには，これらの機能がすべて用意されています．また，すべての情報がリンクされており，回路を変更したり部品を変更したりすれば，それがすべてのパターンやリストに反映されるようになっています．すなわち，回路図を正しく入力しさえすれば，配線まちがいのないプリント基板を作ることができるわけです．回路図用のライブラリも数多く用意されているので，慣れてくれば画面上で回路を考えながら入力していくことも可能となります．

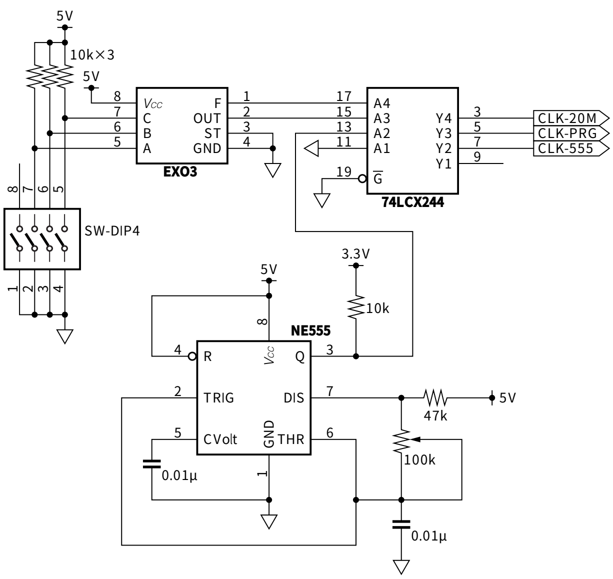


図11　クロック回路

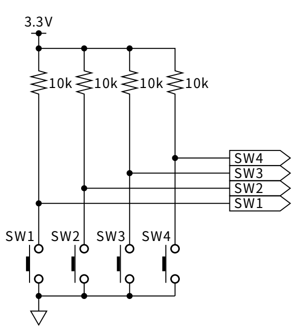


図10　スイッチ入力回路

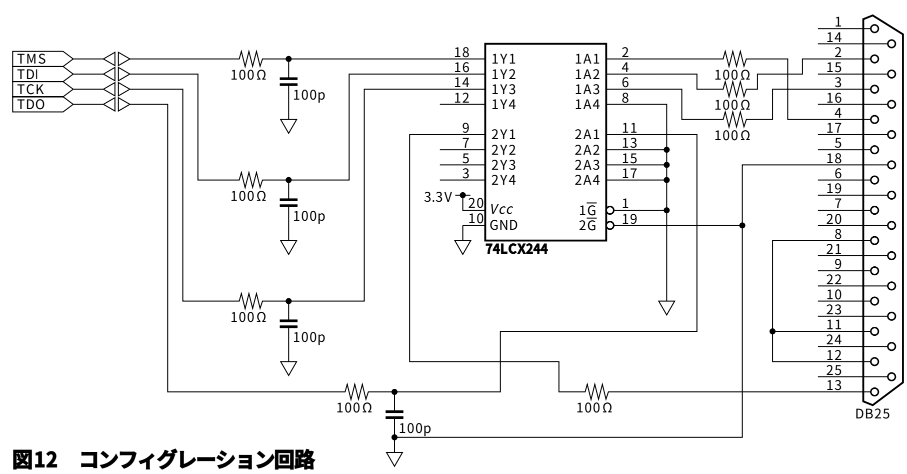
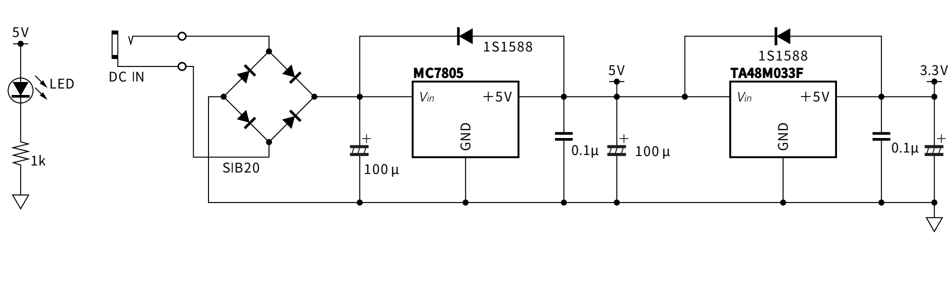


図12　コンフィグレーション回路

図13
電源回路



ここで，回路図を書くだけの“お絵かきソフト”と異なるところは，部品の情報を登録しなければならないことです（**図14**）．プリント基板になったときのパターン（フットプリント）や，部品の定格などを入力します．これにより，回路図だけでなく，部品表や入出力のチェックなども行えるようになります．

これらは，ネットリストと呼ばれる標準的なファイルとして保存されます．

● アートワークを行う

回路図の入力が完了したら，次はパターンの作成です．回路図で作成したネットリストを元に，**図15**のように，画面に部品が現れます．そして，接続しなくてはならない部品どうしが補助線で結ばれています．この間をパターンで結んでいけば，プリント基板ができ上がります．

プリント基板作成には，JISなどの規格で決められているいろいろなルールがあります．Protelは，部品の自動配置や自動配線などの機能を持っています．しかし，自分の思うとおりに接続したいとなると，どうしても人手による配線が必要となります．人手であっても，基板の作成ルールどおりになるように，オンラインDRC（デザイン・ルール・チェック）機能が用意されています．まちがってパターンを交差しようとしたり，設定した最小間隔より近づけて配線しようとするとエラーが表示され，配線できないようになっています．ですから，最初に設計ルールの設定を行っておけば，自動的に規格を守った基板作りを行うことができます．

アートワークの順序は人によって異なると思いますが，およそ以下の手順になるかと思います．

1）基板外形の作成

外形寸法を決定します．

2）取り付け穴の配置

基板を機器に取り付ける穴などを配置します．

3）非実装区域の設定

部品を実装してはいけない場所（基板の縁や取り付け穴の周囲など）を設定し，配線を行えないようにします．部品の高さ制限のある場所なども設定しておきます．

4）部品の配置

部品を配置します．最初にコネクタなどの配置位置が固定の部品を，次にそのほかの部品を，配線の取り回しなどに従って配置していきます．

5）電源線の配線

電源線を配線します．4層以上の多層基板の場合には内層を電源プレーンにできるため，あまり考えなくてすむかもしれません．

6）信号線の配線

信号線を配線します．2層基板の場合，縦方向は部品面，横方向ははんだ面といったように，配線方向と表裏を決めておくと，比較的スムーズに配線することができます．

7）パッドの調整

部品のパッド，スルー・ホールであればはんだ付けなどで熱が加わったり，コネクタ部であれば物理的な圧力がか

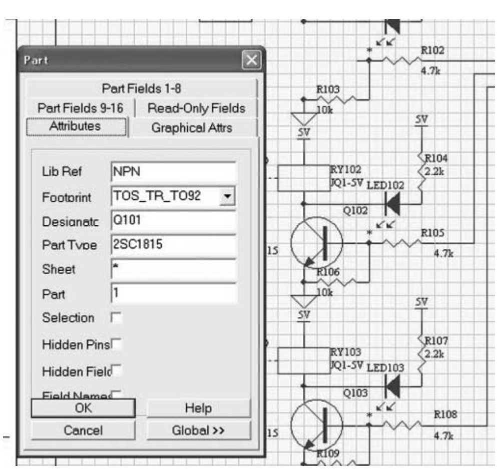


図14　部品の登録
プリント基板になったときのパターン（フットプリント）や部品の定格などを入力する．

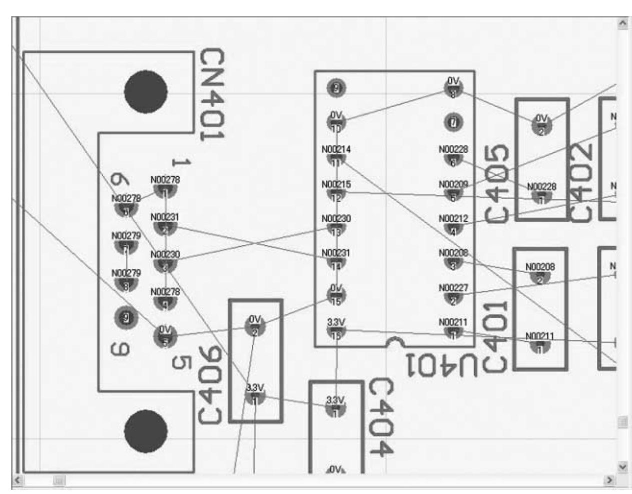


図15　部品の配置
回路図に合わせて画面に部品が現れる．接続しなくてはならない部品どうしが補助線で結ばれているので，パターンによって結んでいく．

6

かったりします．このときに配線が切れるという問題が起こりやすくなります．そこで，ティアドロップやだ円形のようにパッドの形状をくふうする必要があります．

8）ベタ・パターンの作成

0Vの電源ラインなどをベタ・パターンとします．インピーダンスを下げ，ノイズなどに強くなります．

9）シルクの挿入・修正

部品番号などのシルクを記載します．

● プリント基板の製造を依頼

プリント基板の製造依頼では，Gerber（ガーバ）データと呼ばれるデータをプリント基板メーカに提出します．

これは，EIA-274-D規格のデータで，これによってプリント基板の製造が可能になります．依頼に必要なデータは，以下のようなものです．これらはCADツールによってファイル名などが異なることがありますが，かならず出力させることができるはずです．基板メーカによっては，Gerberデータでなくても，プリント基板CADのデータ・ファイルを提出すれば対応してくれるところもあります．

提出用データは以下のようなものです（2層基板の場合）．

- 部品面パターン・データ
- はんだ面パターン・データ
- 部品面レジスト・データ
- はんだ面レジスト・データ
- 部品面シルク・データ
- はんだ面シルク・データ（必要な場合）
- 基板外形データ
- ドリル穴位置データ
- トリル穴種類データ

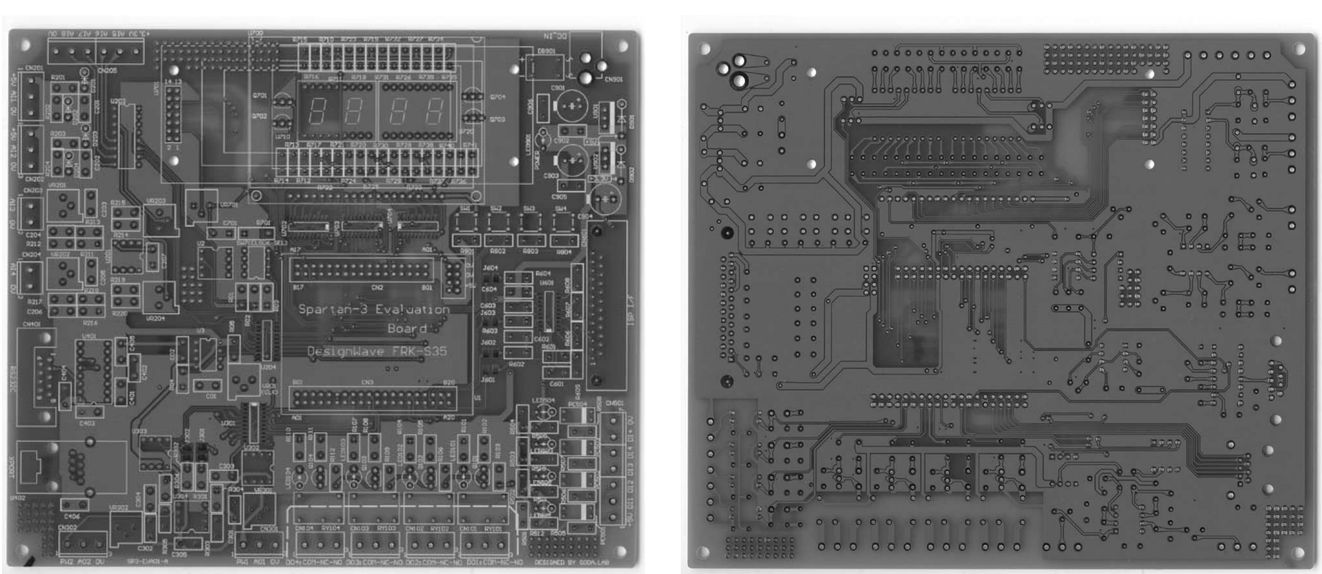
今回はP板.com（http://www.p-ban.com/）を利用しました．ホームページでプリント基板の製造価格の見積もりを行い，電子メールでGerberデータを送付します．すると約1週間ほどで，プリント基板が完成しました（**写真2**）．

ネットでオーダして基板を作成するというビジネスは海外で先行して始まり，日本でも増えつつあります．広告やWebでもよく見かけるようになりました．

3．汎用ボードを動作させる

プリント基板だけでなく，実装する部品も購入する必要があります．昔は，秋葉原や日本橋に行かないと部品を入手できませんでしたが，インターネットの普及によって，現在ではたとえ地方の1個人でも，簡単に入手できるようになっています．

評価ボードや数が少ない試作ボードを作成する場合は，部品の入手性を基準に仕様を考えることも必要です．今回はできるかぎり通信販売で購入可能な部品を利用しました（**表2**）．



（**a**）表面　　（**b**）裏面

写真2　完成したプリント基板

部品の形状も重要です．表面実装部品を使用すると基板面積を小さくできるため，コスト面では有利です．しかし，評価用ボードということで，回路の修正や追加，信号の観測などが行いやすくなるように，なるべくリード部品やDIP（dual in-line package）部品を使用しています．

● 製作する

プリント基板に部品を実装していく段階が，いちばん楽しいところかもしれません．もちろん，はんだ付けを行います．

ユニバーサル基板で作成すると，ここで動作の成否や信頼性まで決まってしまいます．しかし，プリント基板であれば，中学校の授業でラジオを組み立てたことがある方ならだれでも完成させることができるでしょう．

● 動作確認とデバッグを行う

ボードが完成したら，火入れです．

高価な(?)部品については，なるべくソケットを使用して，部品を実装しない状態で電源を投入してみます．電源ランプが正常に点灯することが確認できれば，まずは一安心です．また，できれば電源電流値を測定し，異常な電流が流れていないことも確認します．電流が異常なときは，ICや抵抗などに過大電流が流れていることが考えられます．すぐに電源を切り，回路をチェックします．このときに各部品の表面温度を調べてみると，不ぐあい点を特定しやすくなります．

続いて，ソケットなどで各部品にかかる電圧を測定しておきます．問題がなければ，回路ブロックごとに部品を挿入してデバッグを行います．

4．まとめ

今回は，汎用ボードの機能ではなく，プリント基板の作成方法に重点を置いて解説しました．FPGAやCPLDは，回路が自由に変えられるから便利だ，と言われてきました．自作ではそのFPGAから手足（インターフェース）を出すということが難しかったため，自作派の方には敬遠されていた部分もあるようです．

汎用論理ICが廃止されて手に入らないとか，高密度実装部品はアマチュアでは利用できないから自作派は減っていくだけだ，と言われていた時期があります．しかし，その一方で，インターネットなどのインフラの発達により，通信販売で部品をメーカから直接購入できるようになりました．また，海外からでも部品が買えます．もちろん，プリント基板も個人で製作できてしまうようにもなりました．電子回路に限らず成形品などでも，金型を作らず，フィルムはり重ね式の機械でモックアップが作れるものなどもあり，試作レベルではかなり安い価格で作れます．こういった環境の変化によって，FPGAの導入はより簡単になってきており，物作りへの敷居が低くなってきたとも考えられるのではないでしょうか．FPGAのツールまでもが，無償で使用できる時代なのですから….

こういったインフラを利用することにより，いろいろなアイデアを実現するチャンスは逆に大きくなってきていると考えることができます．FPGAも広大なワーク・エリアを提供してくれます．ぜひ，みなさんもいろいろな可能性にチャレンジしてみてください．

表2　部品入手先の例

入手先	URL
秋月電子通商	http://akizukidenshi.com/
若松通商	http://www.wakamatsu.co.jp/
千石電商	http://www.sengoku.co.jp/
RSコンポーネンツ	http://www.rswww.co.jp/
三共社	http://www.sankyosha.co.jp/shop/sii.html

参考・引用*文献

(1) Spartan-3 Starter Kit Board User Guide, Xilinx, June 2004.

そうだ・やすし
西山工業（株）

6